

## bollettino

## sequenze \*

Al fine di caratterizzare la sismicità del triennio 2008-2010 abbiamo individuato le sequenze sismiche presenti nel Bollettino Sismico Italiano. Dal dataset sono stati esclusi circa 3000 eventi di probabile natura antropica o di confine. Al dataset risultante (45347 eventi) è stato applicato un algoritmo di *clustering* [Reasenber, 1985] che ha consentito di isolare le principali sequenze sismiche.

Abbiamo utilizzato le magnitudo locali ML pubblicate nel BSI. Abbiamo selezionato le sequenze composte da almeno 10 eventi e almeno un terremoto di magnitudo ML 2.5; a questi cluster abbiamo aggiunto anche i raggruppamenti con almeno 20 terremoti e quelli con un numero qualunque di terremoti e almeno un evento di magnitudo ML 3.5 o superiore. Per ogni raggruppamento viene generato un evento equivalente\*\* (Figura 4) che diventa rappresentativo della sequenza. Abbiamo così individuato 127 sequenze; in mappa mostriamo solo le 100 con magnitudo equivalente maggiore o uguale a 3 che hanno interessato il territorio italiano nel triennio 2008-2010 (Figura 5).

La sequenza che ha causato il maggiore rilascio di energia è iniziata il 16 gennaio 2009 nei pressi dell'Aquila (magnitudo ML equivalente 6.22), ha generato oltre 18650 terremoti localizzati nel BSI e non era ancora terminata al 31 dicembre 2010.

La seconda sequenza, in termini di energia rilasciata, è iniziata il 23 dicembre 2008 nell'Appennino toscano-emiliano, tra le province di Parma e Reggio nell'Emilia (magnitudo ML equivalente 5.35) e ha generato circa 330 scosse in 10 settimane.

Circa il 70% della sismicità totale localizzata appartiene a sequenze.

\* Con il termine sequenze ci riferiamo, per semplicità di esposizione, ad un raggruppamento di eventi sismici così come individuati in base all'algoritmo di Reasenber [1985], prescindendo quindi dalla presenza di un mainshock all'interno del gruppo di eventi individuato.

\*\* Le coordinate del terremoto equivalente sono calcolate con una media pesata delle coordinate degli eventi della sequenza. La magnitudo equivalente è ottenuta calcolando il momento sismico totale rilasciato dalla sequenza.

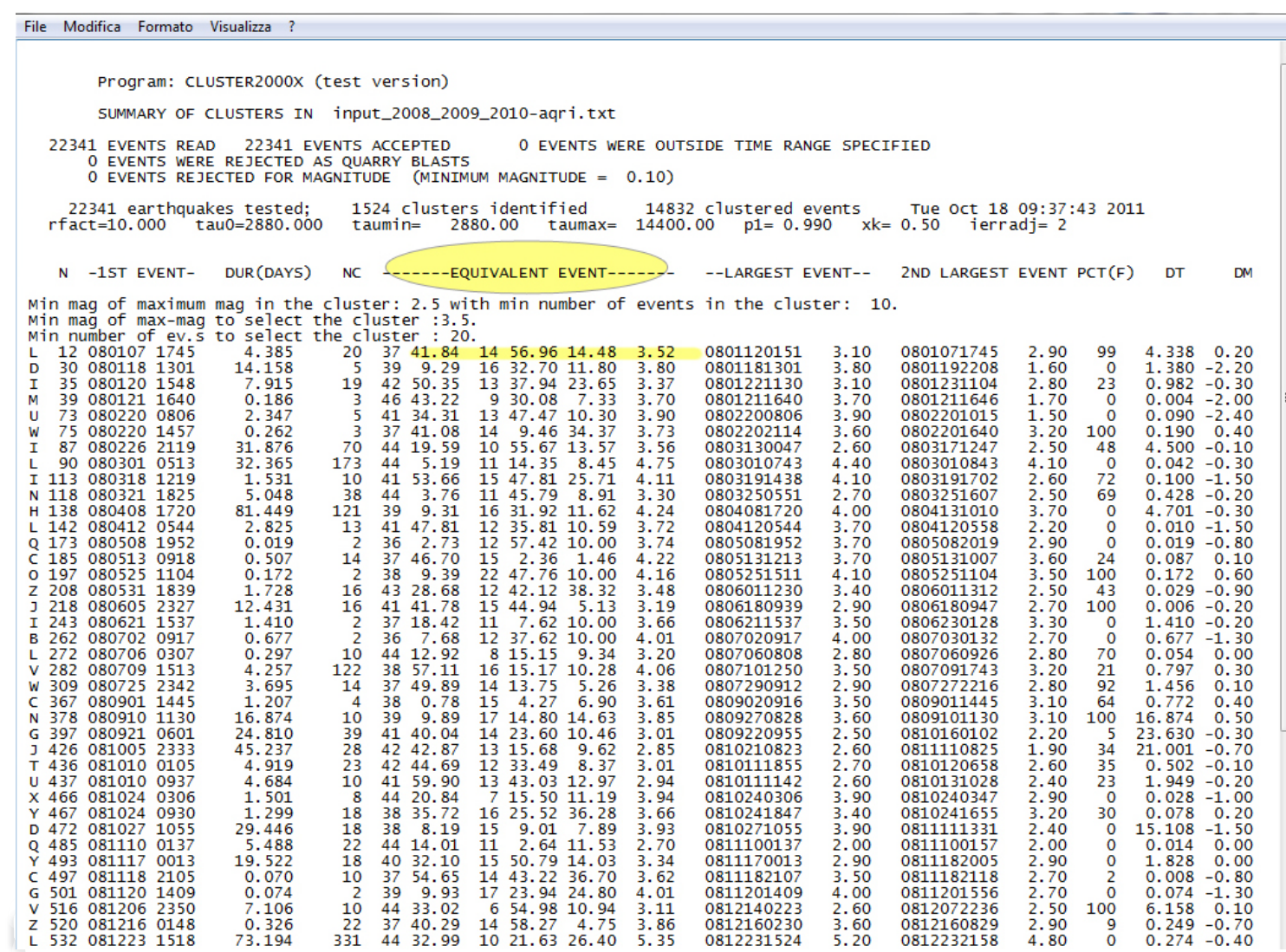


Figura 4 - Esempio del file che viene generato dall'algoritmo di Reasenber. Ogni stringa corrisponde ad una sequenza e contiene al suo interno l'evento equivalente che la identifica.

**Bibliografia**  
L. Arcoraci, P. Battelli, M. Berardi, C. Castellano, G. Lozzi, A. Marchetti, Mele F., A. Nardi, M. Pirro, A. Rossi; 2010: Bollettino Sismico Italiano 2008-2009. GNGTS 2010 (Poster session).  
ISIDE Working Group, 2010; <http://iside.rm.ingv.it/>.  
Mele F., L. Arcoraci, P. Battelli, M. Berardi, C. Castellano, G. Lozzi, A. Marchetti, A. Nardi, M. Pirro, A. Rossi; 2010: Bollettino Sismico Italiano 2008. Quaderni di Geofisica, 85, INGV, Roma, 45 pp.  
Reasenber, P.; 1985: Second-Order Moment of Central California Seismicity, 1969-1982. J. Geophys. Res., 90, 5479-5495.  
Wiemer S.; 2001: A software package to analyze seismicity: ZMAP. Seismol. Res. Lett., 72, 373-382.  
Wiemer S., M. Baer; 2000: Mapping and Removing Quarry Blast Events from Seismicity Catalogs. Bull. Seismol. Soc. Am., 90 (2), 525-530.

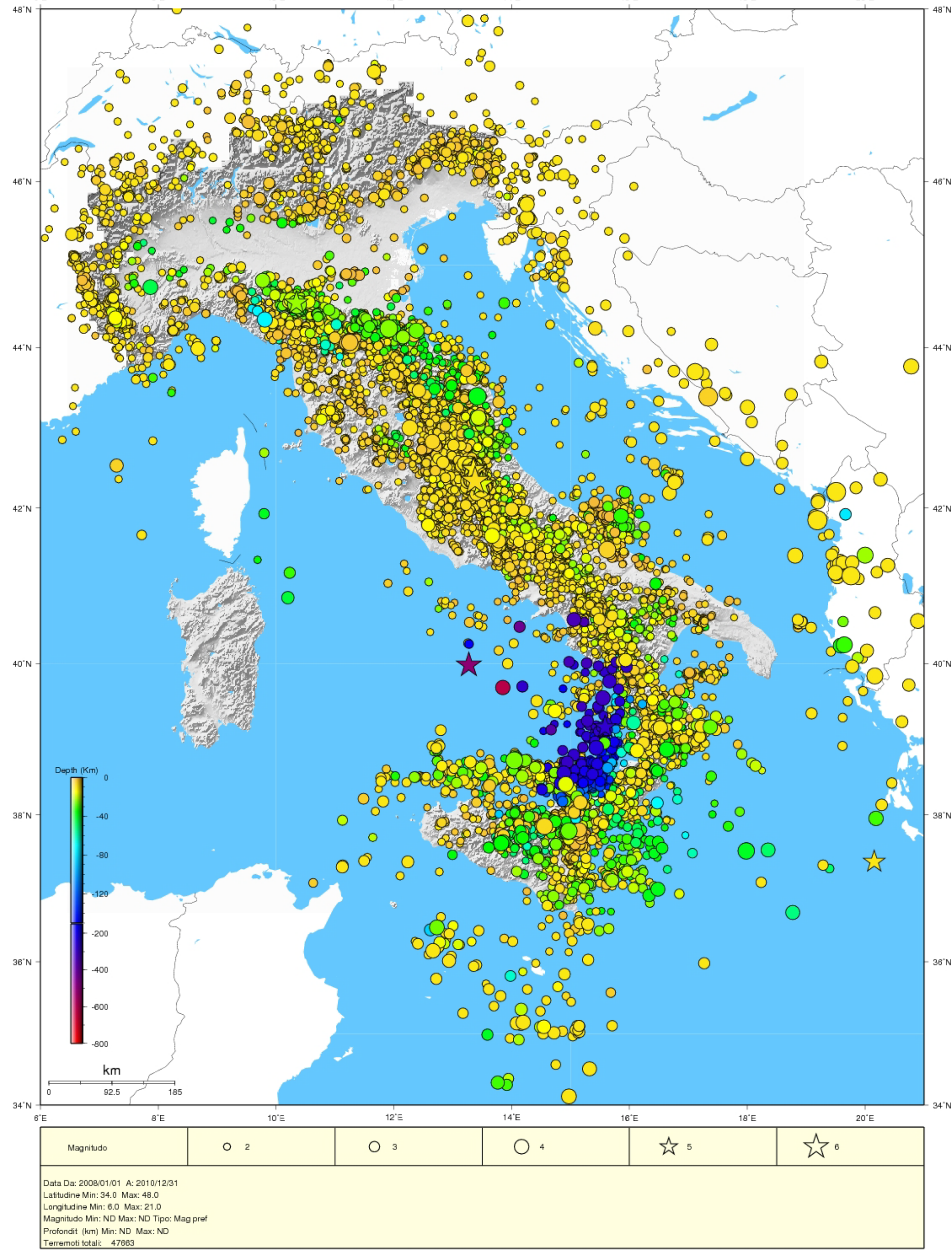


Figura 1 - Mappa degli eventi sismici localizzati nel 2008-2010 presenti nel BSI.

Nel triennio 2008 – 2010 il Bollettino Sismico Italiano (BSI) contiene circa 48000 terremoti localizzati in Italia e nelle aree limitrofe (Figura 1 e 2). Di questi circa 25000 fanno parte della grande sequenza sismica dell'aquilano – reatino (periodo settembre 2008-dicembre 2010). Per l'anno 2008 la magnitudo minima di completezza  $M_c$ , calcolata con il metodo della massima verosimiglianza [Zmap; Wiemer, 2001; Wiemer e Baer, 2000] è stata pari a 2.1; si è ridotta nel 2009 a 1.7 (ma a 1.6 limitatamente all'area dell'aquilano-reatino) mentre nel 2010 la magnitudo minima di completezza sull'intero territorio rimane al valore 1.6 (Figura 3).

Il valore di  $b$  rimane stabile nei tre anni, con variazioni tra 1.01 e 1.03.

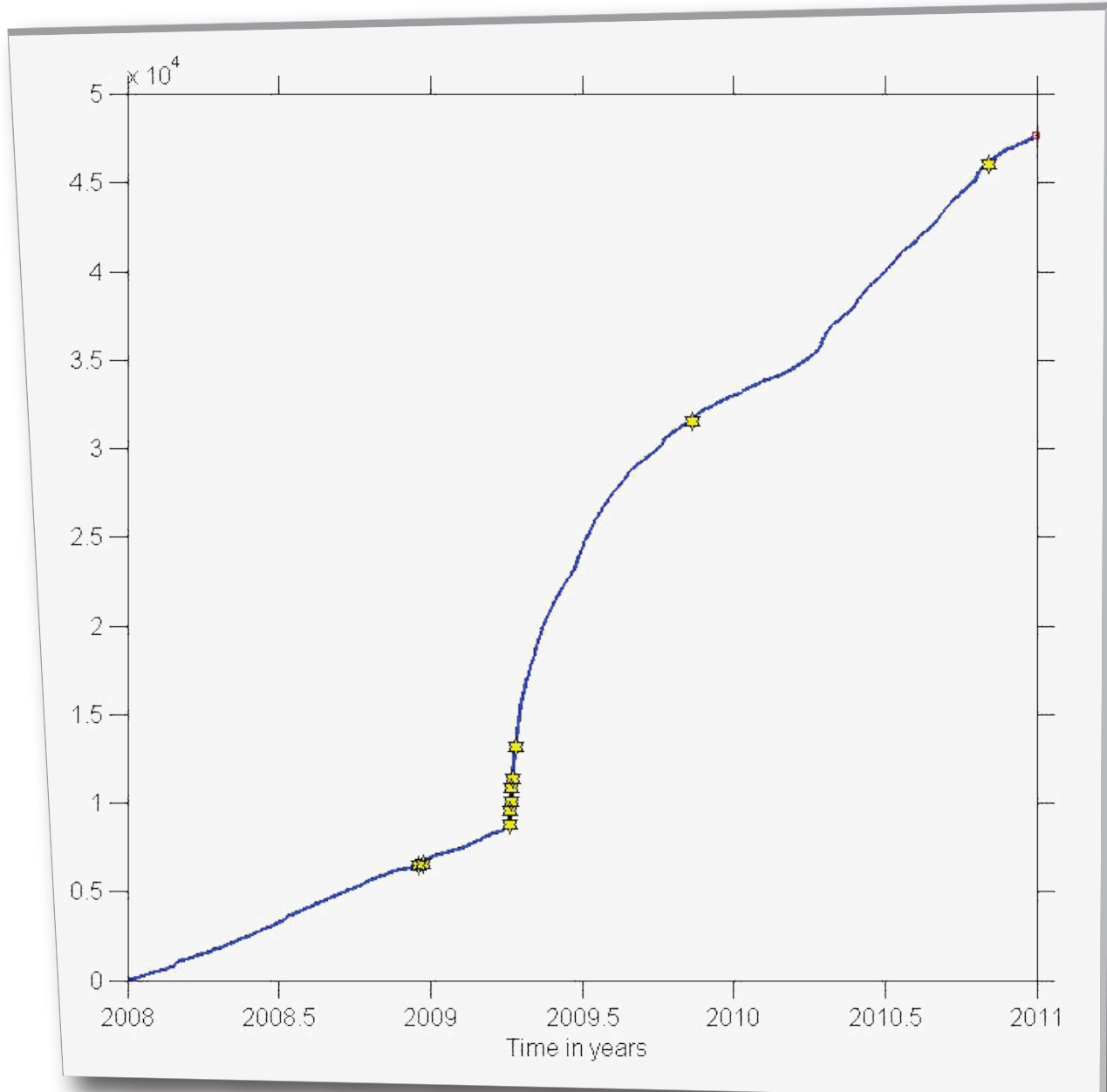


Figura 2 – Numero cumulato di terremoti nel BSI 2008-2010. Le stelle indicano i terremoti di magnitudo  $ML \geq 5.0$

Il BSI allo stato attuale contiene un certo numero di eventi che sono probabilmente erroneamente interpretati e localizzati come terremoti di origine tettonica; in realtà essi sono generati da esplosioni in cava o miniera. Utilizzando il software ZMAP sono state individuate una quindicina di aree in cui avvengono eventi di origine antropica, che sono quantificabili in oltre 600 eventi nel BSI 2008, poco meno di 600 nel 2009 e circa 750 nel 2010. Tali eventi hanno una magnitudo compresa tra  $ML$  0.5 e 2.3.

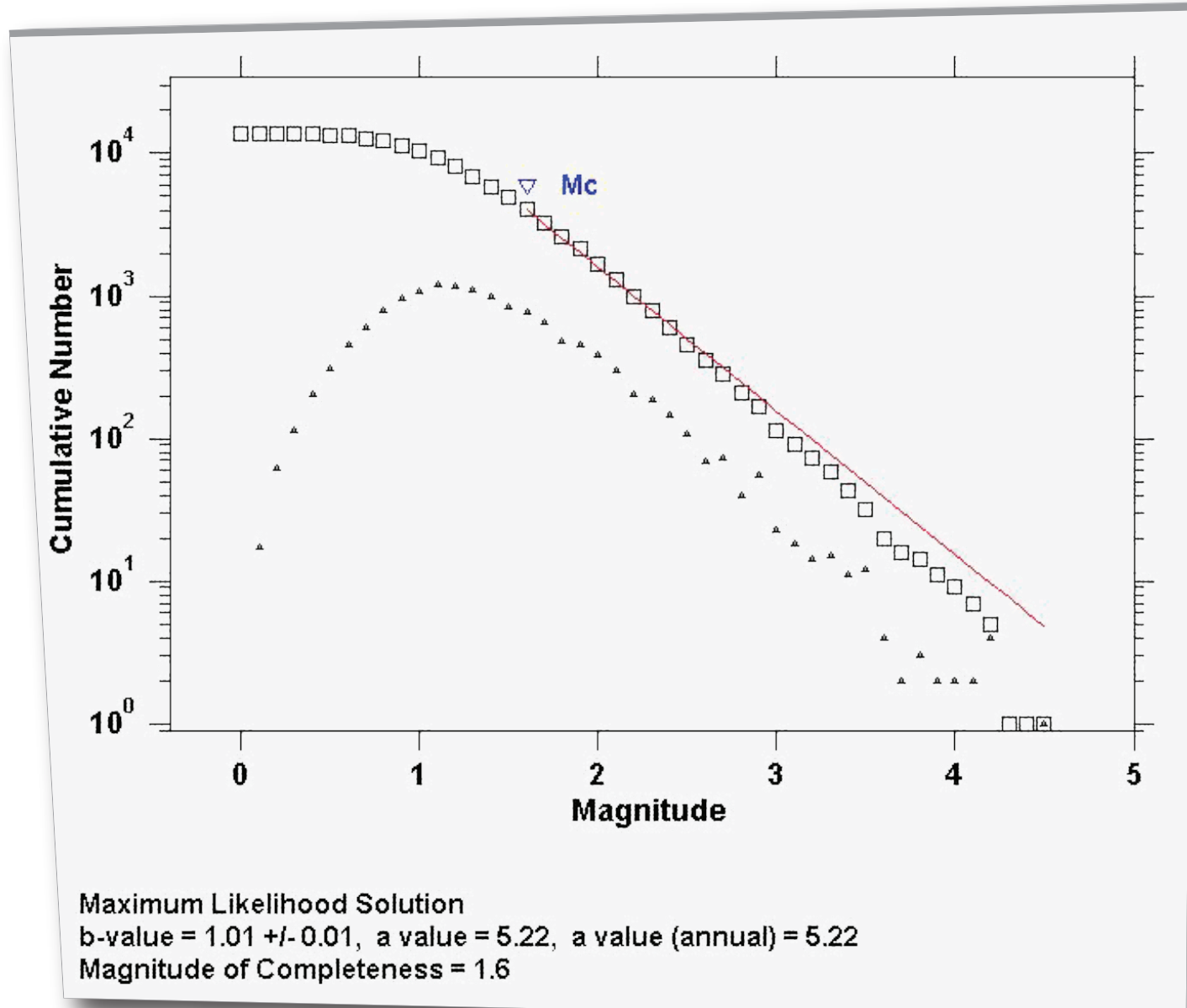


Figura 3 – Gutenberg-Richter cumulata (quadrati) e non cumulata (triangoli) del Bollettino Sismico Italiano 2010. La magnitudo locale minima di completezza  $M_c$  è 1.6. Il valore di  $-b$  è 1.01  $\pm$  0.01.

Nel triennio 2008-2010 hanno partecipato all'elaborazione del Bollettino Sismico Italiano (BSI) i seguenti analisti sismologi: Luca Arcoraci, Patrizia Battelli, Michele Berardi, Corrado Castellano, Fabio Criscuoli, Giulio Lozzi, Andrea Malagnini, Alessandro Marchetti, Giorgio Modica, Anna Nardi, Mario Pirro, Vincenzo Pirro, Antonio Rossi e Sabina Spadoni.

Le localizzazioni del BSI sono reperibili in <http://iside.rm.ingv.it/> e in <http://bollettinosismico.rm.ingv.it/>. Alcune elaborazioni di questi dati vengono ora pubblicate in un report annuale (Mele et al., 2010) che riprende la tradizionale pubblicazione del Bollettino Sismico dell'ING, interrotta nel 1994.

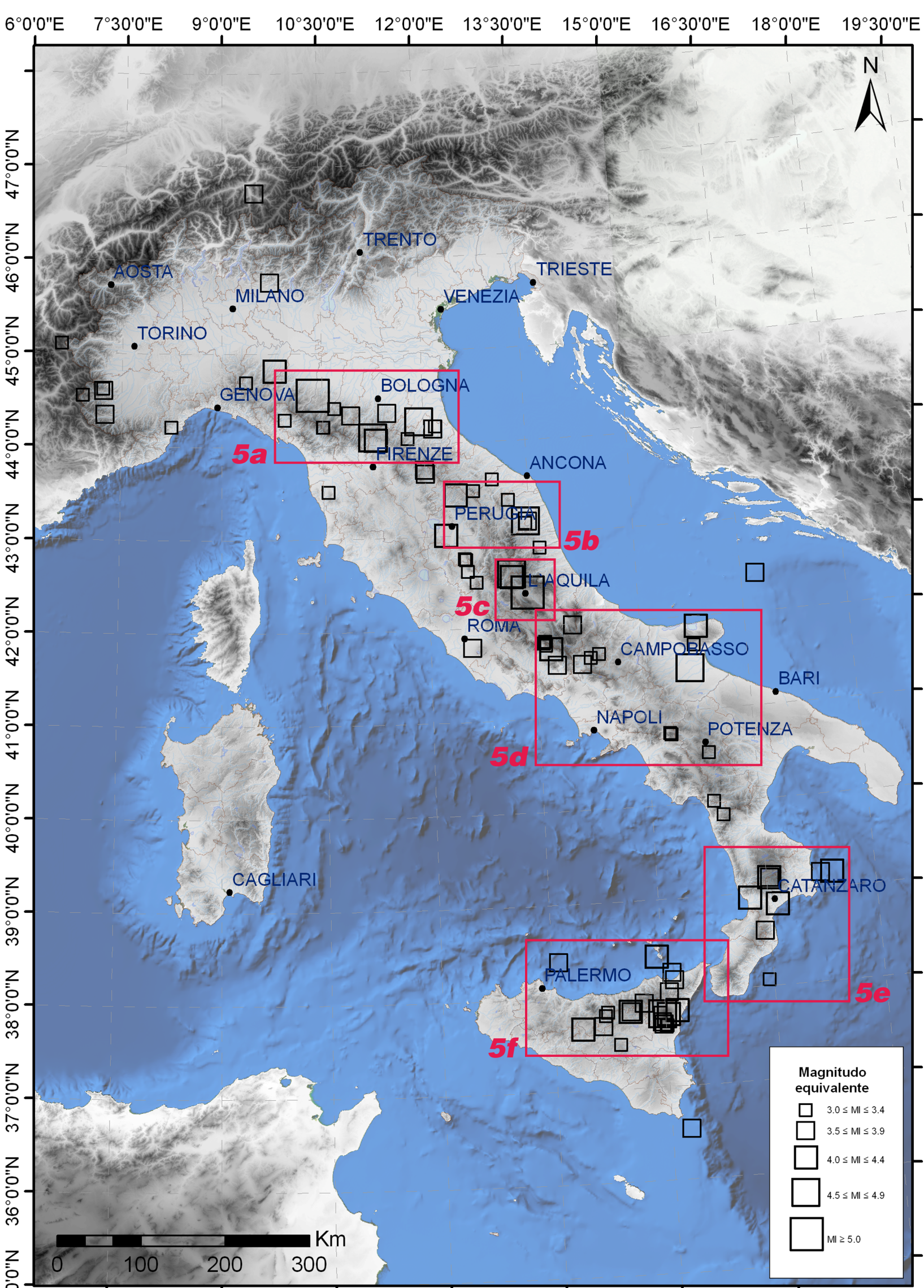


Figura 5 - Principali sequenze nel triennio 2008-2010. I quadrati neri rappresentano l'evento di magnitudo equivalente per ogni sequenza.

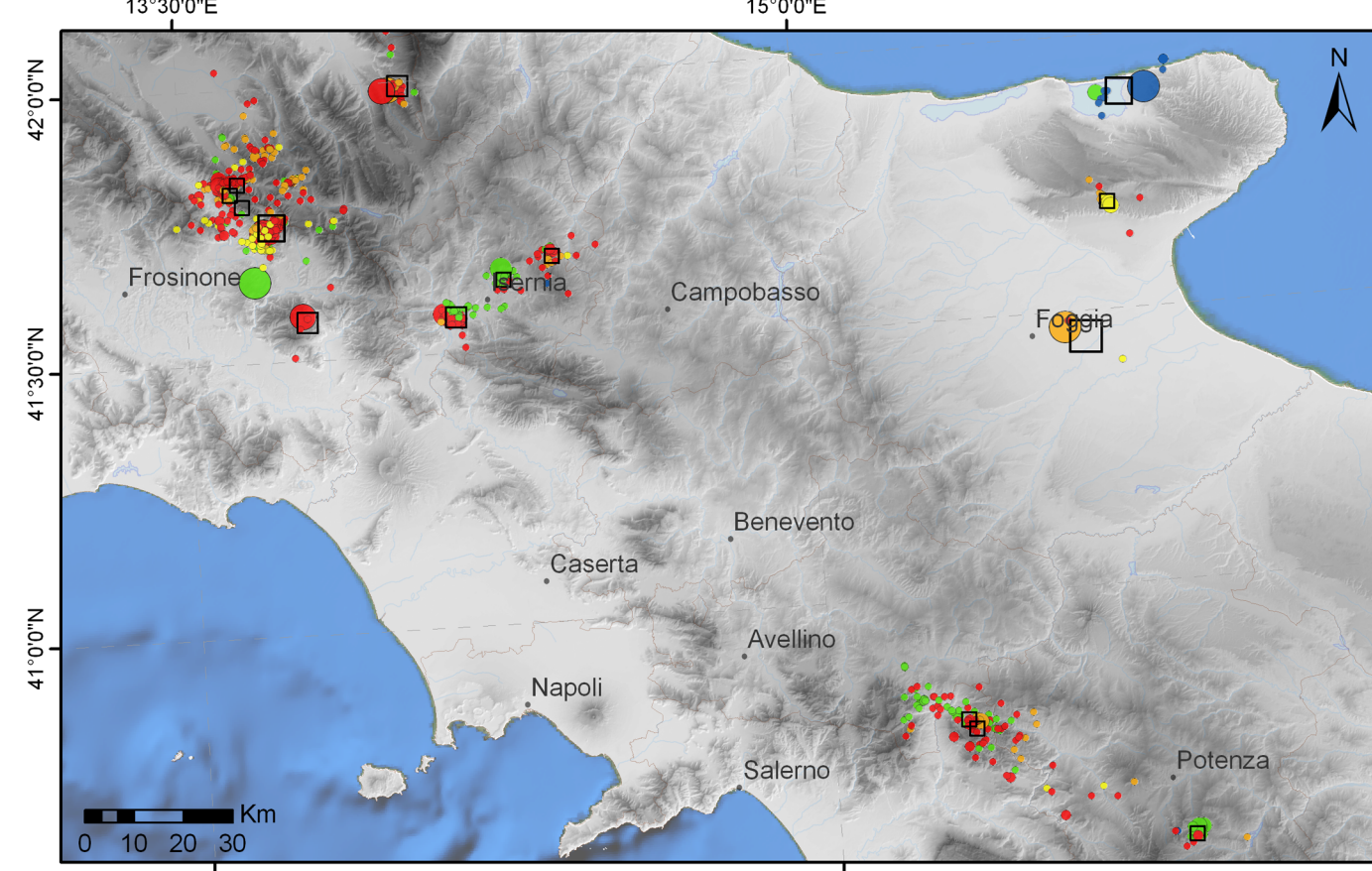
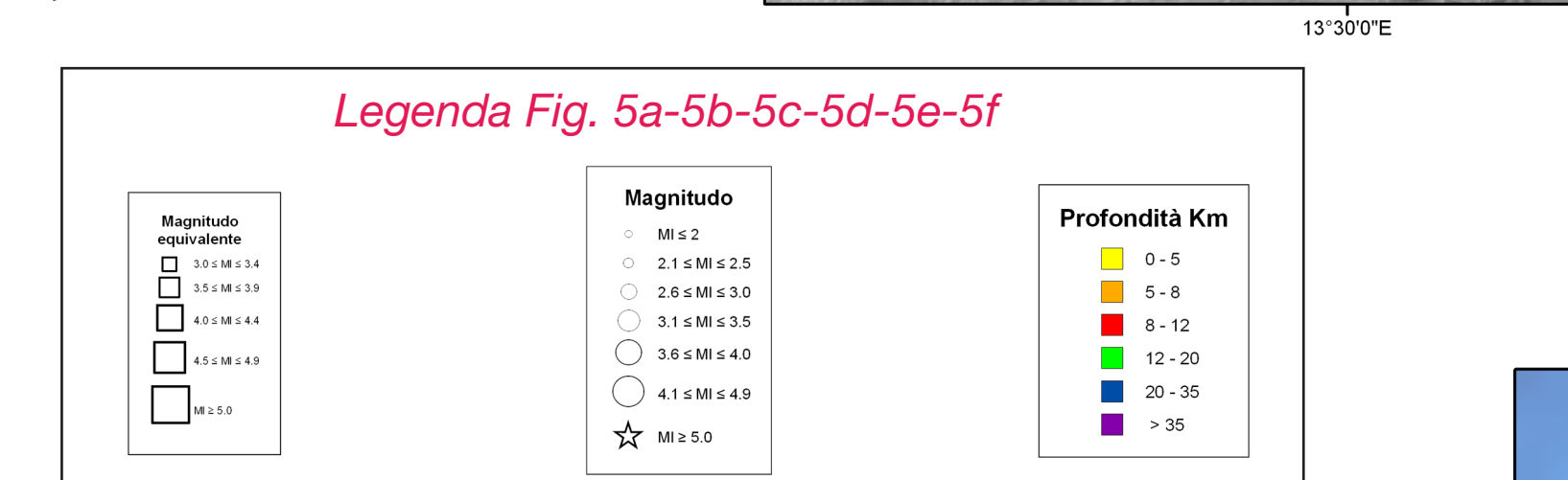
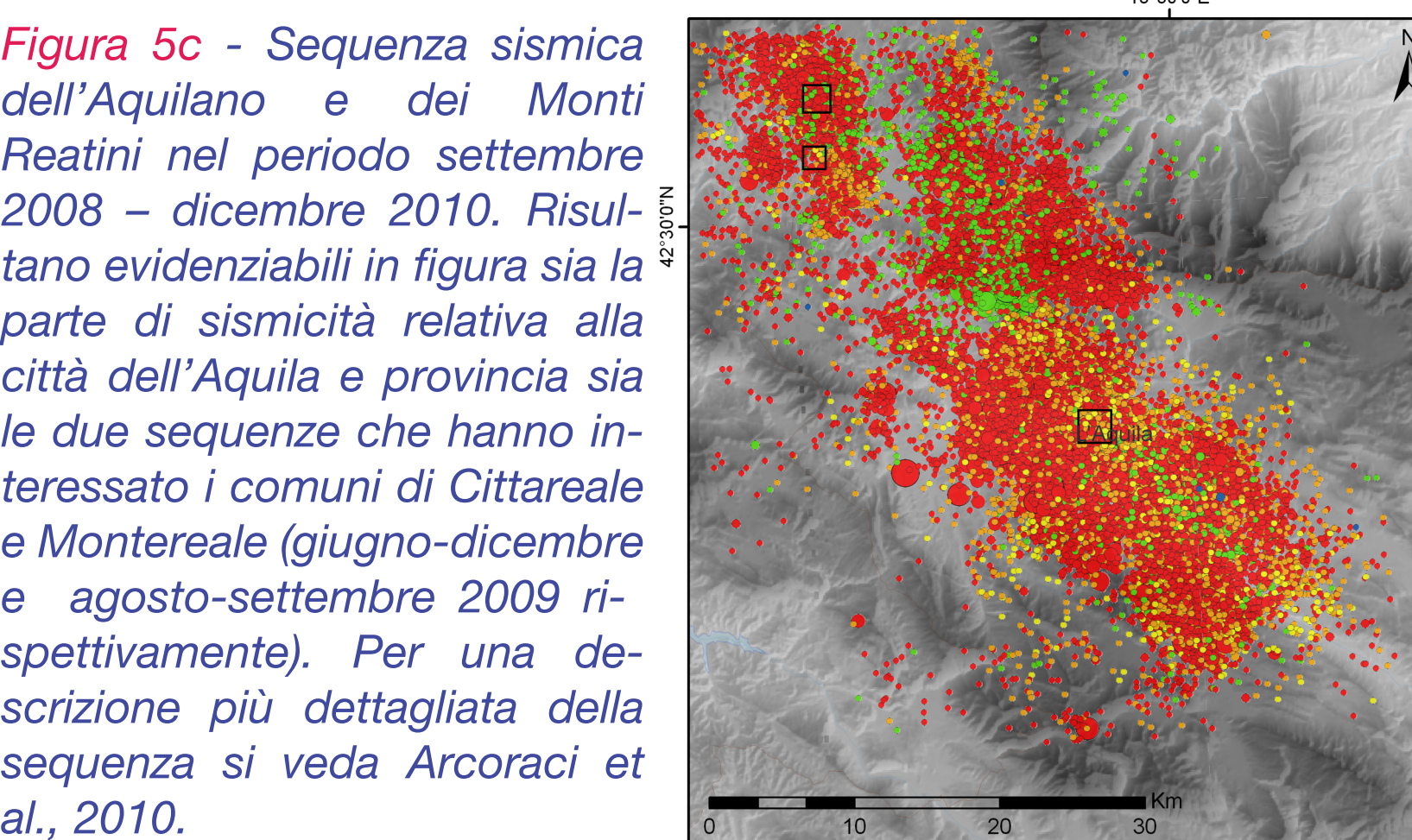


Figura 5d - L'Appennino centro-meridionale è stato interessato nel triennio 2008-2010 da un certo numero di sequenze principalmente concentrate nei settori N-occidentale e S-orientale. Nel primo settore, in ordine temporale, si possono individuare le sequenze relative alla zona di Cassino (febbraio 2008 e maggio 2010), al Sannio (settembre-ottobre 2008 e agosto 2010), al Bacino di Sulmona (marzo-aprile 2009), ai Monti della Meta-Le Mainarde (settembre-ottobre 2009), alla Marsica (aprile-giugno 2009) e ai Monti Ernici-Simbruini (luglio-settembre 2010).

Nel secondo settore le aree interessate da sciami o sequenze sismiche risultano limitate all'Appennino lucano (novembre 2008) e all'Irpinia (maggio-agosto 2009 e agosto 2010). Risulta inoltre interessante la sismicità rilevata e analizzata nelle zone del Promontorio del Gargano e del Tavoliere delle Puglie; la caratteristica più significativa è data dalla modalità di rilascio dell'energia che, in entrambi i settori, ha comportato il verificarsi di un unico evento profondo di  $ML > 4.0$  seguito da un numero estremamente esiguo di repliche.

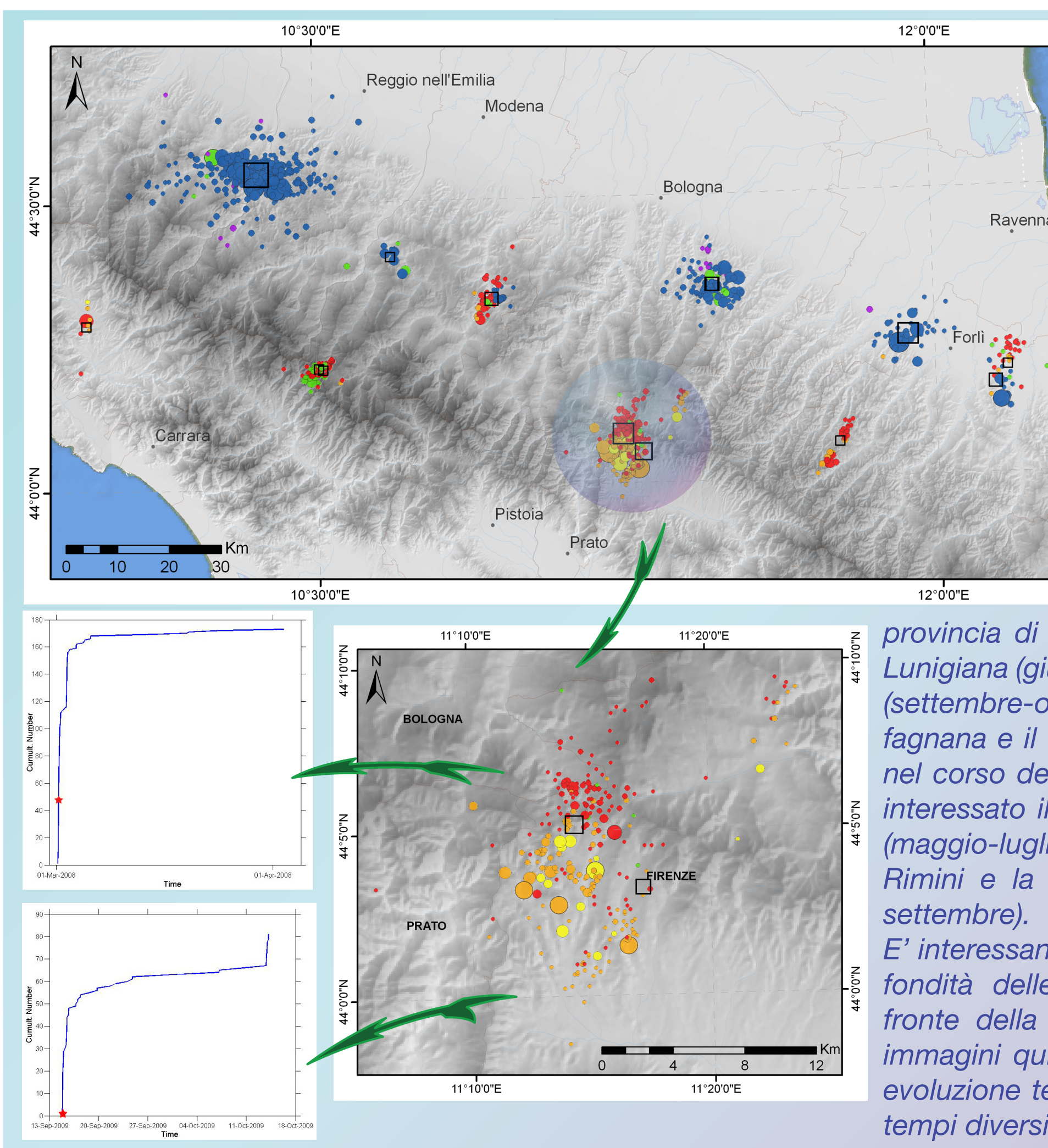


Figura 5a - L'Appennino settentrionale nei settori toscano-emiliano e romagnolo è stato interessato nel triennio 2008-2010 da ben 10 sequenze sismiche. In particolare nel corso del 2008 (vedi Mele et al., 2010; Arcoraci et al., 2010) si è avuta una sequenza nella zona dell'Appennino modenese (febbraio-marzo), una nel Mugello (marzo-aprile) e una nella zona appenninica compresa tra le province di Parma e Reggio nell'Emilia (dicembre 2008-gennaio 2009). Durante il 2009 i settori interessati sono stati: la provincia di Forlì-Cesena (aprile), la zona della Lunigiana (giugno-luglio), nuovamente il Mugello (settembre-ottobre) e l'area compresa tra la Garfagnana e il Frignano (ottobre-dicembre). Infine nel corso del 2010 le sequenze occorse hanno interessato il settore dell'Appennino bolognese (maggio-luglio e dicembre) e l'area compresa tra Rimini e la provincia di Forlì-Cesena (luglio-settembre).

E' interessante notare la distribuzione delle profondità delle sequenze rispetto all'asse e al fronte della catena appenninica. Inoltre, nelle immagini qui a fianco si evidenzia la differente evoluzione temporale di 2 sequenze occorse in tempi diversi ma a brevissima distanza spaziale.

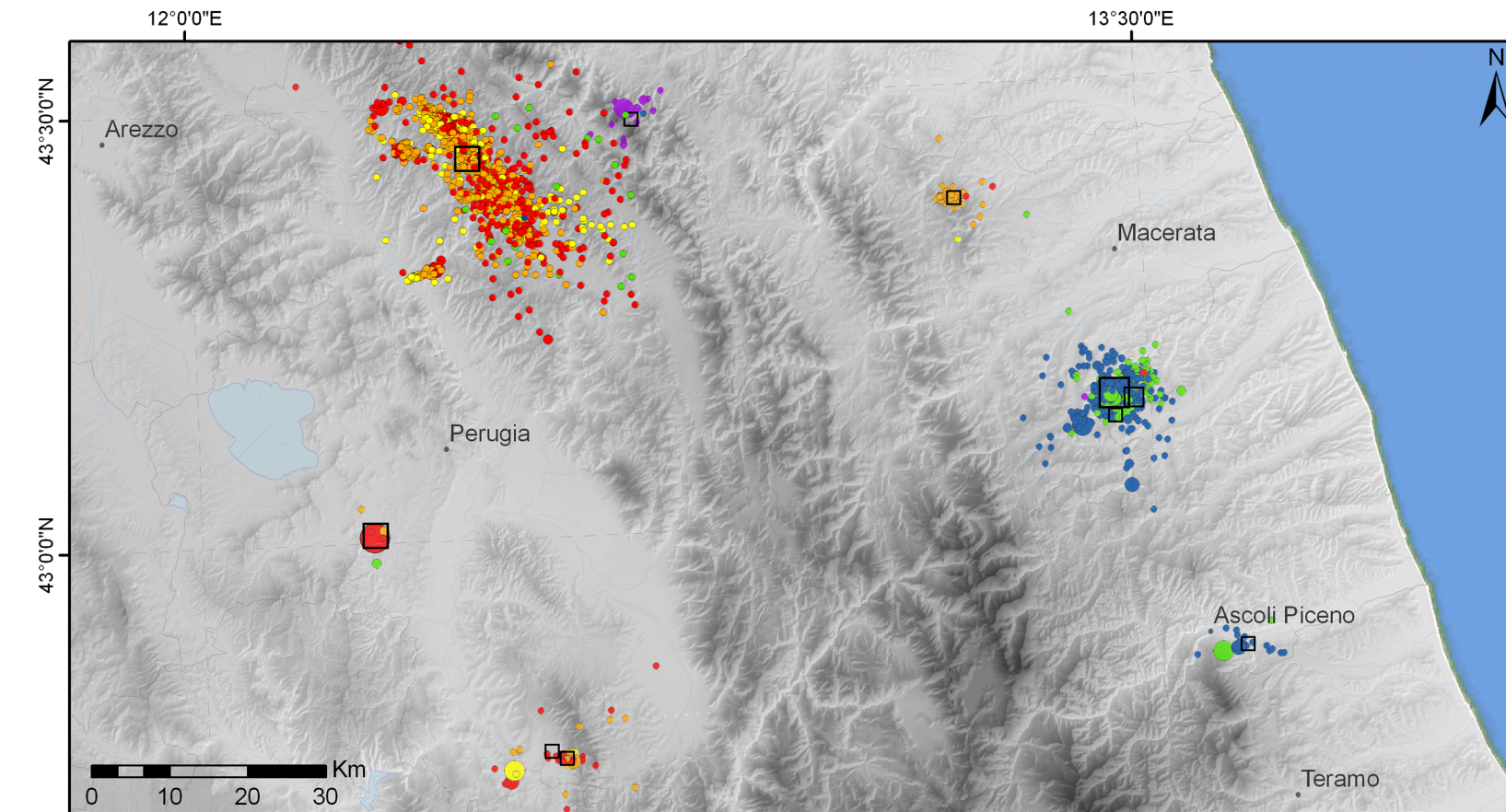


Figura 5b - L'Appennino umbro-marchigiano è stato interessato nel triennio 2008-2010 da un numero di sequenze relativamente inferiore rispetto ad altri settori della catena. La maggior parte della sismicità e delle sequenze individuate risultano principalmente concentrate nell'area compresa tra le province di Ascoli Piceno e Macerata (gennaio 2008, gennaio-aprile 2010, settembre 2010 rispettivamente da SSE a NNW). Inoltre nel gennaio del 2008 si è verificata una piccola sequenza piuttosto profonda nella zona del Metauro (nella provincia di Pesaro e Urbino) e nel corso del 2009 altre 3 piccole sequenze

molto più superficiali nel settore dei Monti Martani (settembre-ottobre) e della Valle del Tevere (dicembre). Un discorso a parte merita la sismicità rilevata nel triennio 2008-2010 relativamente all'area compresa tra il Bacino di Gubbio e l'Alta Val Tiberina; in effetti a partire dal 2008 in questo settore è in fase di realizzazione un esperimento (Test Site Alta Valle del Tevere) che ha comportato l'installazione di un grande numero di stazioni sismiche e l'incremento sostanziale della sismicità di fondo rilevata, con conseguente notevole riduzione della soglia di rilevazione.

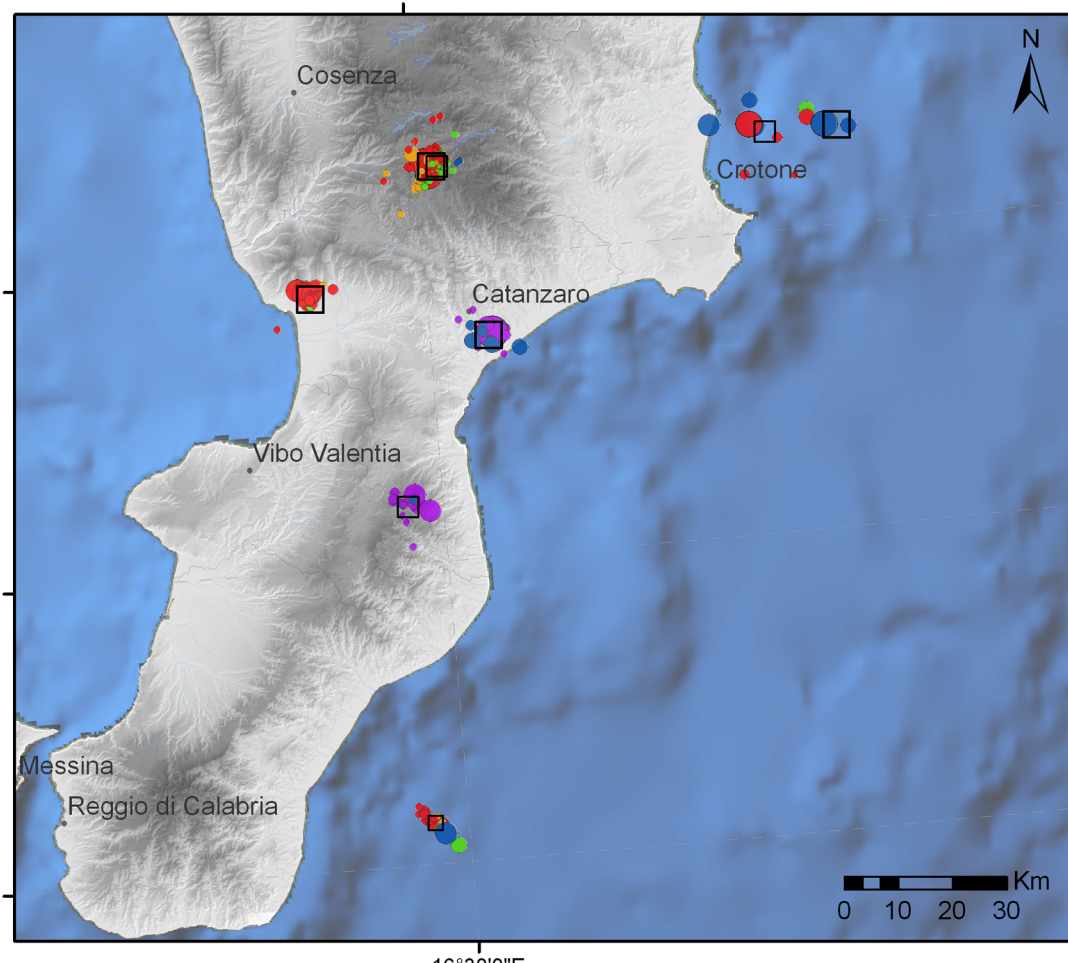


Figura 5e - In Calabria le sequenze evidenziate e rappresentate risultano avvenute principalmente nel corso del 2008, interessando i settori della Sila, tra le province di Cosenza e Catanzaro, in due distinti periodi (gennaio-febbraio e aprile-giugno), della Piana di S.Eufemia (luglio), del Crotonese (settembre-novembre) e l'area de Le Serre, tra le province di Catanzaro e Vibo Valentia, nel mese di ottobre (sequenza con profondità ipocentrale intorno ai 40 Km). Nel mese di novembre del 2009 si è verificata una sequenza di una certa rilevanza al largo della costa calabra meridionale; è interessante notare che per questa e per la sequenza del Crotonese la distribuzione degli epicentri risulti piuttosto dispersa, probabilmente a causa delle difficoltà insite nella localizzazione di eventi in mare. Infine nel mese di ottobre del 2010 è avvenuta una sequenza sismica nella Piana di Catanzaro, caratterizzata anche questa, come quella occorsa nel settore de Le Serre, da ipocentri piuttosto profondi.

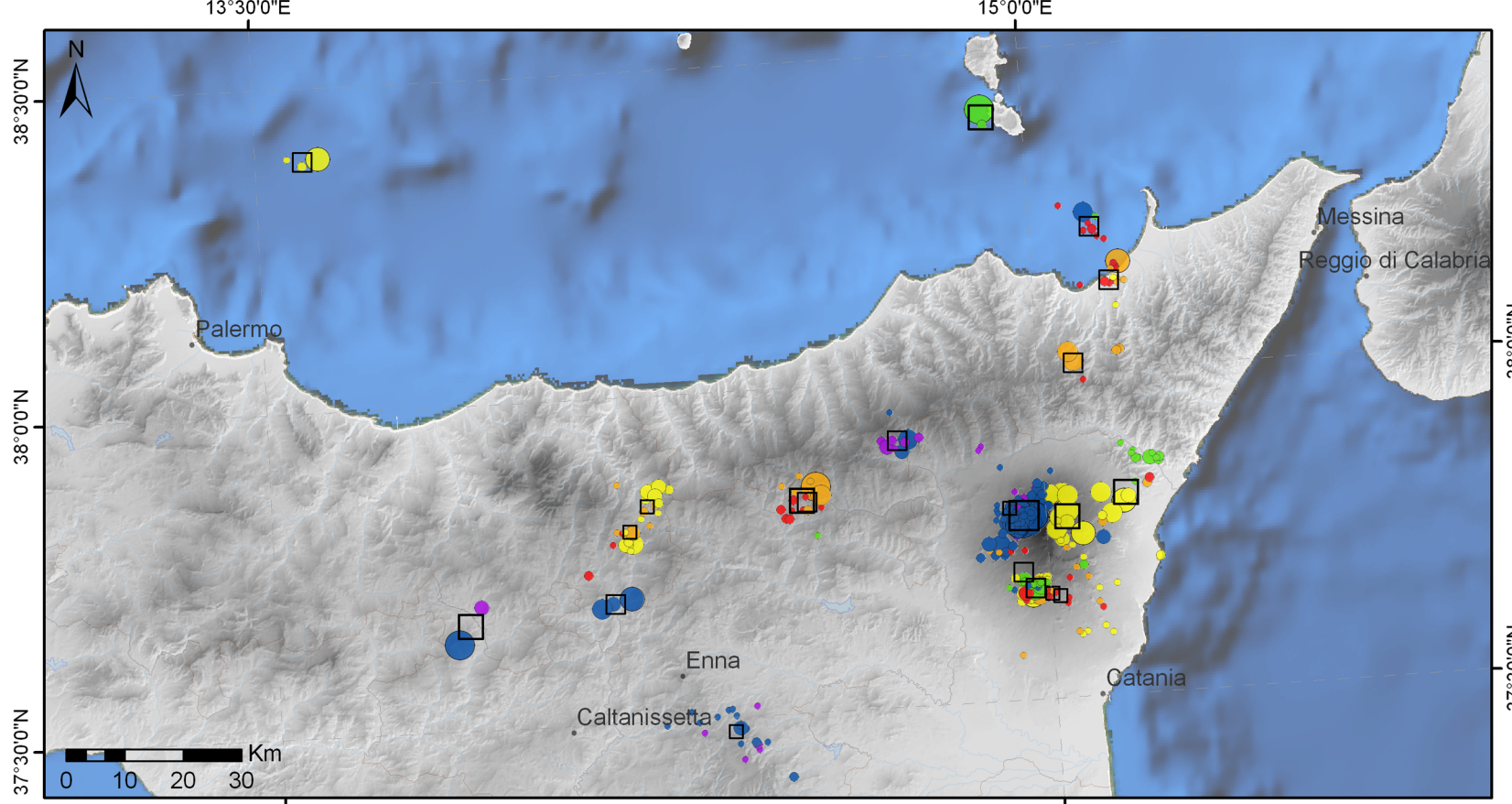


Figura 5f - In Sicilia nel triennio 2008-2010 le sequenze individuate risultano davvero numerose e significative in termini di rilascio di energia sismica. Partendo dal settore centrale, tra le province di Enna e Caltanissetta, le tre sequenze rappresentate, e avvenute rispettivamente nel mese di febbraio 2008 e nei mesi di agosto e di novembre del 2009, risultano caratterizzate da eventi con profondità ipocentrali intorno ai 30 Km. Essattamente a N di questo settore, e precisamente nella zona delle Madonie, le due sequenze evidenziate (luglio 2008 e maggio 2010) risultano invece piuttosto superficiali. Spostandoci ad E nel settore dei Monti Nebrodi sono presenti 2 raggruppamenti di eventi con profondità variabili, occorsi rispettivamente nei mesi di settembre e di novembre del 2008, in due distinte aree e altre 2 sequenze, spazialmente concomitanti, ma avvenute a distanza di due mesi una dall'altra (novembre 2009 e gennaio 2010). La sismicità rilevata in mare, nei ben noti distretti sismici del Tirreno meridionale-Isole Lipari o Eolie-Golfi di Patti e Milazzo, si riferisce tutta a eventi singoli o a sequenze avvenute nel corso del 2010, rispettivamente nei mesi di gennaio e di agosto. Risultano infine davvero peculiari le sequenze evidenziate nel corso del triennio in corrispondenza dell'edificio vulcanico etneo: le profondità ipocentrali del settore N-orientale rispetto a quelle del lato N-occidentale sembrano tagliare in due la struttura vulcanica, mentre il settore meridionale è caratterizzato da raggruppamenti di eventi con ipocentri a profondità estremamente variabile.